



PCT

WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales Büro

INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation ⁶ : H01L 21/66, 21/3065	A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 99/04425 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 28. Januar 1999 (28.01.99)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE98/01961 (22) Internationales Anmeldedatum: 14. Juli 1998 (14.07.98) (30) Prioritätsdaten: 197 30 644.6 17. Juli 1997 (17.07.97) DE (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): ROBERT BOSCH GMBH [DE/DE]; Postfach 30 02 20, D-70442 Stuttgart (DE). (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): BECKER, Volker [DE/DE]; Im Wiesele 7, D-76359 Marxzell (DE). LÄRMER, Franz [DE/DE]; Witikoweg 9, D-70437 Stuttgart (DE). SCHILP, Andrea [DE/DE]; Seelenbachweg 15, D-73525 Schwäbisch Gmünd (DE).	(81) Bestimmungsstaaten: JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht. Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist; Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i>	

(54) Title: METHOD FOR DETECTING THE TRANSITION OF DIFFERENT MATERIALS IN SEMICONDUCTOR STRUCTURES

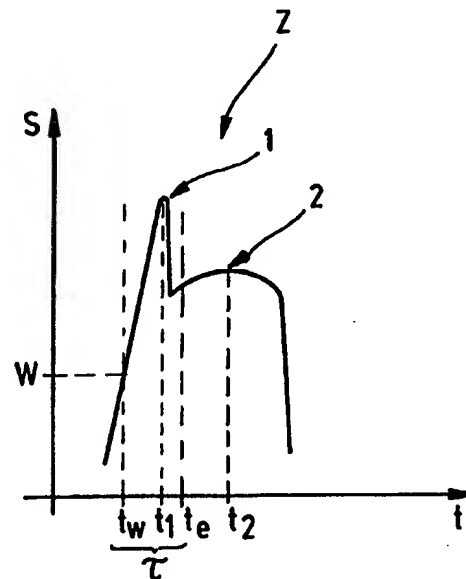
(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM ERKENNEN DES ÜBERGANGS VERSCHIEDENER MATERIALIEN IN HALBLEITER-STRUKTUREN

(57) Abstract

The invention relates to a method for detecting the transition of different materials in semiconductor structures in alternating etching and coating steps for anisotropic deep plasma etching of defined structures. According to the invention, the beginning of each etching step is determined by measuring the concentration of at least one given substance contained in the plasma when a characteristic threshold value (W) is obtained. Said value can also be obtained by means of an external synchronization signal indicating the beginning and the end of each etching step. Once the threshold value (W) has been obtained, a delay time (τ) which is longer than the required time for determining a first maximum concentration (1) is initiated. Subsequently, a second maximum concentration (2) is determined once the delay time (τ) has elapsed. In order to detect the transition of a material, the second maximum concentrations (2) of the etching steps are monitored with the purpose of determining whether the given value (A, B) has been exceeded or not.

(57) Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Erkennen des Übergangs verschiedener Materialien in Halbleiterstrukturen bei alternierenden Ätz- und Abdeckschritten zur anisotropen, mittels eines Plasmas erfolgreicher Tiefenätzung von definierten Strukturen. Es ist vorgesehen, daß mittels einer Konzentrationsmessung mindestens eines bestimmten, im Plasma enthaltenen Stoffs der Beginn eines jeden Ätzschritts durch Erreichen eines charakteristischen Schwellenwerts (W) ermittelt wird, der auch durch ein externes Synchronisationssignal, das Beginn und Ende jedes Ätzschritts anzeigt, erreicht werden kann, und daß dann mit Erreichen des Schwellenwerts (W) eine Verzögerungszeit τ gestartet wird, die länger ist als der Verlauf eines ersten Konzentrationsmaximums (1), daß dann nach Ablauf der Verzögerungszeit τ ein zweites Konzentrationsmaximum (2) ermittelt wird, und daß die zweiten Konzentrationsmaxima (2) der Ätzschritte auf ein Über- oder Unterschreiten des vorgegebenen Werts (A, B) zur Erkennung eines Materialübergangs überwacht werden.



LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

Verfahren zum Erkennen des Übergangs verschiedener Materialien in Halbleiterstrukturen

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Erkennen des Übergangs verschiedener Materialien in Halbleiterstrukturen bei alternierenden Ätz- und Abdeckungsbeziehungsweise Abscheideschritten zur anisotropen, mittels eines Plasmas erfolgender Tiefenätzung definierter Strukturen.

Stand der Technik

Aus der deutschen Patentschrift 42 41 045 ist ein Plasmaätzprozeß für Silicium bekannt, bei dem ein teflonartiger Schutzfilm auf die Seitenwände geätzter Strukturen aufgebracht und in einem darauffolgenden, an sich isotropen Ätzschritt mit Fluorradi- kalen das Silicium in die Tiefe geätzt wird. Durch Abtrag des darüberliegenden Seitenwandschutzfilms, anschließendem Transport nach unten, und Redepo- sition während der einzelnen Ätzschritte werden die neu erzeugten Seitenwandabschnitte stets vor dem nachfolgenden Ätzangriff geschützt, so daß eine glatte Seitenwand entsteht. Liegen in einer Halb- leiterstruktur Schichten verschiedener Materialien vor, so ist die Ätzung oftmals durch eine Schicht hindurch bis zur darunter liegenden Schicht durch-

zuführen, das heißt, der Ätzvorgang wird bis zum Beginn einer neuen Schicht durchgeführt und dann gestoppt. Besteht zum Beispiel die obere Schicht aus Silicium und die darunter liegende Schicht aus Siliciumdioxid, so bedient man sich üblicherweise einer optischen Spektroskopie-Methode, um den Ätzprozeß nach Durchätzen der Siliciumschicht und unmittelbar nach Erreichen der Siliciumdioxidschicht zu stoppen. Die optische Methode besteht darin, daß die Stärke der Emission des Plasmas hinsichtlich eines bestimmten Stoffes mittels seiner charakteristischen Emissionswellenlänge(n) untersucht wird. Während der Ätzung von Silicium nach Art der DE 42 41 045 wird eine relativ große Menge an Fluorradikale bei der Ätzreaktion verbraucht, das heißt, die Konzentration der Fluorradikale ist relativ gering im Plasma. Gleichzeitig entstehen gasförmige Reaktionsprodukte, wie SiF_2 , SiF_3 , SiF_4 , die ihrerseits eine charakteristische Emission zeigen. Wird durch die Ätzung die dielektrische Zwischenschicht, also die Siliciumdioxidschicht, erreicht, so tritt quasi ein Ätzstopp ein, da der Ätzvorgang im Siliciumdioxid wesentlich langsamer abläuft als im Silicium. Aufgrund dieses Ätzstopps nimmt der Fluorverbrauch ab; entsprechend wächst die Menge an freiem Fluor im Plasma. Dies wird durch eine entsprechende Lichtemission bei charakteristischen Wellenlängen bei der optischen Messung erkannt. Durch die Verlangsamung des Ätzprozesses beim Erreichen der Siliciumdioxid-Schicht geht ferner die SiF_x -Konzentration zurück, so daß deren Lichtemission bei charakteristischen Wellenlängen abnimmt, und die Emission des Sauerstoffs aus dem Siliciumdioxid bei dessen charakteristischen Wellenlängen auftritt. Auch diese Effekte sind mittels

- 3 -

der optischen Meßmethode sensierbar. Mittels der erwähnten optischen Methode kann somit der Ätzprozeß beendet oder mit geänderten Parametern weitergeführt werden. Dies ist erforderlich, da ein unkontrolliertes Überätzen zu einem ungewünschten Ätzprofil, beispielsweise zu einem Anätzen der senkrechten Seitenwände, führt, so daß eine Hinterschneidung der Maske mit Strukturverlust stattfindet. Die ursprünglich erreichte Genauigkeit ist damit nicht mehr gegeben, auch kann es zu Taschenbildungen am dielektrischen Interface (zwischen Silicium und Siliciumdioxid) kommen.

Vorteile der Erfindung

Das erfindungsgemäße Verfahren stellt zum Erkennen des Übergangs verschiedener Materialien in Halbleiterstrukturen bei alternierenden Ätz- und Abdeckungsschritten nach Art der DE 42 41 045 eine Methode zur Verfügung, mit der präzise, reproduzierbare Ergebnisse erzielt werden können. (Im Zuge dieser Anmeldung werden im folgenden die Begriffe Konzentration beziehungsweise Konzentrationsmaximum verwendet, die durch die Begriffe Intensität beziehungsweise Intensitätsmaximum substituiert werden können, da die Konzentration eines im Plasma enthaltenen Stoffs und die Intensität über eine Intensitätsmessung der charakteristischen Emissionswellenlänge(n) proportional zueinander in Beziehung steht). Hierzu ist vorgesehen, daß mittels einer Intensitätsmessung mindestens eines bestimmten, im Plasma enthaltenen Stoffs über dessen Emissionsstärke und damit seiner Konzentration der Beginn eines jeden Ätzschritts durch Erreichen eines charakteristischen Schwellenwerts ermittelt wird und daß dann mit Erreichen des Schwellenwerts eine Ver-

- 4 -

zögerungszeit gestartet wird, die länger ist als der Verlauf eines ersten uncharakteristischen Konzentrationsmaximums, daß dann nach Ablauf dieser Verzögerungszeit ein zweites Konzentrationsmaximum ermittelt wird, und daß die zweiten Konzentrationsmaxima der Ätzschritte auf ein Über- oder Unterschreiten eines vorgegebenen Werts zur Erkennung des Materialübergangs überwacht werden. Anstelle der Über- oder Unterschreitung eines Schwellenwerts kann gegebenenfalls auch mittels eines Synchronisationssignals, auf dessen Generierung nicht näher eingegangen wird, das Ende beziehungsweise der Anfang des Ätzschritts ermittelt werden. Die Erfindung sieht somit vor, als wesentliche Größe ein bei jedem Ätzschritt auftretendes zweites Konzentrationsmaximum eines bestimmten, im Plasma enthaltenen Stoffes, heranzuziehen. Die Detektion dieses zweiten Maximums erfolgt dadurch, daß ein jeweils vor dem auszuwertenden Maximum liegender, uncharakteristischer Signalpeak, nämlich ein erstes Konzentrationsmaximum durch Abwarten der Verzögerungszeit unberücksichtigt bleibt. Die Verzögerungszeit wird derart gewählt, daß sie länger ist als der Verlauf des ersten Konzentrationsmaximums, so daß dieses erste Konzentrationsmaximum quasi ausgeblendet wird. Mit der Auswertung des zweiten charakteristischen Konzentrationsmaximums steht ein für das Erkennen des Übergangs verschiedener Materialien bei jedem Ätzschritt charakteristischer und damit aussagekräftiger Wert zur Verfügung. Dieser Wert wird vorzugsweise kontinuierlich, also bei jedem Ätzschritt ermittelt. Alternativ ist es jedoch auch denkbar, daß dieser Wert nicht bei jedem Ätzschritt, sondern beispielsweise bei jedem zweiten Ätzschritt ermittelt wird. Die einzelnen zweiten Konzentrationsmaxima verändern während des Ablaufs

- 5 -

der Vielzahl der Ätzschritte ihre Größe; es besteht also eine Abhängigkeit von dem geätzten Material. Wird im Zuge der Ätzvorgänge ein Material verlassen und ein zweites Material angeätzt, so ändern sich die aussagekräftigen zweiten Konzentrationswerte, das heißt, daß ein Über- oder Unterschreiten eines vorgegebenen Werts die Aussage ermöglicht, daß das tieferliegende zweite Material erreicht wurde. Das erfindungsgemäße Verfahren gestattet überdies eine Tendenzaussage, da die Veränderung des zweiten Konzentrationsmaximums im Zuge der einzelnen Ätzschritte im wesentlichen kontinuierlich verläuft, so daß es zu einem Ansteigen beziehungsweise Abfallen der Maxima kommt, wodurch erkennbar wird, daß demnächst der Materialübergang erreicht wird. Mithin kann durch eine geeignete, kontinuierliche Auswertung eine Tendenzaussage vorgenommen werden.

Nach einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, daß eine Spitzenwertermittlung des zweiten Konzentrationsmaximums erfolgt. Mithin wird jeweils der größte Wert erfaßt und als Auswertekriterium herangezogen. Alternativ ist es natürlich auch denkbar, daß mehrere, im Bereich der Spitze liegende Werte des zweiten Konzentrationsmaximums für die Auswertung herangezogen werden.

Dies ist beispielsweise dann der Fall, wenn das zweite Konzentrationsmaximum mittels eines Sample-and-Hold-Verfahrens ermittelt wird. Hierzu kann eine entsprechende Sample-and-Hold-Vorrichtung eingesetzt werden.

Ferner ist es vorteilhaft, wenn die mittels Fluorradikalen zu ätzende Halbleiterstruktur mindestens einen Bereich aus Silicium und mindestens einen an-

deren Bereich aus Siliciumdioxid aufweist, wobei das Silicium das von der Ätzseite zuerst bearbeitete Material und das Siliciumdioxid das durch den fortschreitenden Ätzprozeß zu erreichende Material ist, wobei der Anstieg der zweiten Fluorkonzentrationsmaxima bis über den vorgegebenen Wert zum Erkennen des Materialübergangs von Silicium zu Siliciumdioxid führt. Die zweiten Fluorkonzentrationsmaxima bilden somit die vorstehend erwähnten zweiten Konzentrationsmaxima. Alternativ kann bei einer Ätzung von Silicium bis zu einer tieferliegenden Siliciumdioxidschicht jedoch auch vorgesehen sein, daß der Abfall eines im Plasma enthaltenen SiF_x -Konzentrationsmaximums bis unter den vorgegebenen Wert zum Erkennen des Materialübergangs von Silicium zu Siliciumdioxid ermittelt und ausgewertet wird.

Zeichnung

Die Erfindung wird im folgenden anhand der Figuren näher erläutert. Es zeigt

- Figur 1 ein Diagramm, das die Fluorkonzentration in Abhängigkeit der Zeit bei einer Vielzahl von Ätzschritten wiedergibt,
- Figur 2 ein Diagramm eines einzelnen Ätzschritts gemäß Figur 1,
- Figur 3 einen Verlauf von zweiten Konzentrationsmaxima der Ätzschritte gemäß Figur 1,
- Figur 4 ein Blockschaltbild, mit dessen Hilfe eine Auswertung der Meßergebnisse durchgeführt wird und

Figur 5 eine detaillierte Schaltungsausführung.

Beschreibung eines Ausführungsbeispiels

Die Figur 1 zeigt ein Diagramm, auf dessen Ordinate die Fluorkonzentration S (Signalstärke) und auf dessen Abszisse die Zeit t aufgetragen ist. Der Kurvenverlauf dieses Diagramms läßt eine Vielzahl von Ätzschritten Z erkennen, das heißt, die Fluorkonzentration wächst bei jedem Ätzschritt Z bis auf einen Maximalwert und fällt dann -wenn der Ätzschritt beendet wird- auf einen Minimalwert ab. Bei der durchgeführten Ätzung handelt es sich um eine mittels Plasmas erfolgende Tiefenätzung einer Halbleiterstruktur zum Beispiel für einen Sensor, wobei -von der Ätzseite her gesehen- das Material Silicium (Si) bis zu einer tieferliegenden Schicht aus Siliciumdioxid (SiO_2) geätzt wird. Dies erfolgt durch eine Vielzahl der aus Figur 1 ersichtlichen Ätzschritte, wobei bei jedem Ätzschritt die Seitenwände der geätzten Struktur mittels eines teflonartigen Schutzfilms geschützt werden. Das Plasma weist Fluorradikale auf, wobei wegen des deskontinuierlichen Prozesses die Konzentration an freiem Fluor stark periodisch schwankt, wie dies aus dem Verlauf der Kurve in Figur 1 ersichtlich ist. Zu Beginn einer jeden Ätzung Z erreicht die Fluorkonzentration S ein erstes Konzentrationsmaximum 1, dem -nach Ablauf einer bestimmten Zeitspanne- ein zweites Konzentrationsmaximum 2 folgt. Dies ist im Detail deutlich der Figur 2 zu entnehmen, die -in vergrößerter Darstellung- einen Ätzschritt Z hinsichtlich des Zeitverlaufs der Fluorkonzentration S zeigt. Deutlich ist das erste Konzentrationsmaximum 1 zu erkennen, das zum Zeitpunkt t_1 vorliegt. Zu dem späteren Zeitpunkt t_2 stellt sich das zweite

Konzentrationsmaximum 2 ein. Ein Vergleich des ersten Konzentrationsmaximums 1 sowie des zweiten Konzentrationsmaximums 2 der Ätzschritte 2 in Figur 1 zeigt, daß es sich bei dem ersten Konzentrationsmaximum 1 um einen hinsichtlich des fortschreitenden Ätzprozesses uncharakteristischen Wert, also einem Prozeßartifakt handelt, das heißt, die Größe stellt insofern für das Erreichen der Siliciumdioxid-Schicht keine charakteristische Größe dar. Dies ist anders bei dem zweiten Konzentrationsmaximum 2. Eine Betrachtung der einzelnen Ätzschritte mit fortlaufender Zeit (Figur 1) läßt erkennen, daß mit Fortschreiten der Ätzperioden das zweite Konzentrationsmaximum 2 ansteigt. Dieser Anstieg resultiert aus der Zunahme an freiem Fluor im Plasma, da beim Erreichen der Siliciumdioxidschicht der Fluorverbrauch für die Ätzung abnimmt und daher die Konzentration des Fluors im Plasma zunimmt. Die Ermittlung des freien Fluors im Plasma erfolgt vorzugsweise mittels eines optischen Verfahrens, beispielsweise wird die Lichtemission bei für Fluor charakteristischen Wellenlängen gemessen. Um bei der Auswertung die uncharakteristischen ersten Konzentrationsmaxima unberücksichtigt zu lassen, ist -gemäß Figur 2- eine Verzögerungszeit τ vorgesehen, die mit einem Schwellenwert W der Fluorkonzentration zum Zeitpunkt t_w beginnt und zum Zeitpunkt t_e endet.

Aus der Figur 2 ist ersichtlich, daß im Zeitbereich der Verzögerungszeit τ der erste Peak der Fluorkonzentration liegt. Die Größe des Schwellenwerts W wird in Abhängigkeit vorliegender Prozeßgrößen festgelegt. Der Schwellenwert W kennzeichnet den jeweiligen Start der einzelnen Ätzschritte 2. Er bildet somit einen "Trigger" für den Start der Ver-

zögerungszeit τ . Wichtig ist dabei, daß der Schwellenwert W beziehungsweise die Verzögerungszeit τ derart gewählt sind, daß stets sicher das erste Konzentrationsmaximum 1 innerhalb der Verzögerungszeit τ liegt und demzufolge ausgeblendet werden kann, das heißt nicht für die Auswertung herangezogen wird.

Um zu erkennen, daß die gewünschte Ätztiefe erreicht wurde, also daß die Siliciumdioxidschicht freigelegt ist, wird ein aus der Figur 1 ersichtlicher vorgegebener Wert A herangezogen, dessen Größe aufgrund der Prozeßparameter bestimmt ist. Wird dieser Wert A im Zuge des Verlaufs der Ätzschritte vom jeweiligen zweiten Konzentrationsmaximum 2 überschritten, so läßt dies die Aussage zu, daß die Ätzung die gewünschte Tiefe erreicht hat, das heißt, die Siliciumdioxidschicht ist freigelegt. In der Figur 1 ist dies zum Zeitpunkt t_f gegeben.

Die Figur 3 erläutert diesen Vorgang. Aufgetragen ist auf der Ordinate des Diagramms der Figur 3 die Fluorkonzentration S und auf der Abszisse die Zeit t . Die Kurve K stellt den Verlauf der zweiten Konzentrationsmaxima 2 über den gesamten Ätzprozeß, also über die Vielzahl der Ätzschritte Z dar. Es ist erkennbar, daß sie mit fortschreitender Zeit ansteigt (durchgezogene Linie), das heißt, die Größe der zweiten Konzentrationsmaxima nimmt zum Ende des Ätzprozesses hin zu, wobei sie im Zeitpunkt t_f den vorgegebenen Wert A schneidet. Dies bedeutet, daß durch den Ätzvorgang die Siliciumdioxidschicht freigelegt wurde. Mithin läßt das vorstehend erwähnte Vorgehen ein Erkennen des Übergangs verschiedener Materialien zu.

In den Figuren 1 und 3 ist -nach einem anderen, hier nicht näher erläuterten Ausführungsbeispiel- ferner ein vorgegebener Wert B sowie ein nach unten erfolgender Abfall der Kurve K (gestrichelte Linie) erkennbar. Wird -entsprechend dem vorstehend erläuterten Prozeß- nicht die Fluorkonzentration, sondern die Konzentration anderer gasförmiger Reaktionsprodukte, wie beispielweise SiF_2 , SiF_3 oder SiF_4 (also SiF_x) beim Ätzprozeß ermittelt, so nimmt diese Konzentration gemäß der gestrichelten Linie der Figur 3 am Ende des Ätzprozesses ab. Bei dem jeweiligen Konzentrationswert handelt es sich ebenfalls um zweite Konzentrationswerte, nämlich zweite Konzentrationsmaxima der genannten SiF_x -Konzentration. Unterschreitet dieses Konzentrationsmaximum den vorgegebenen Wert B, so ist dies ein Zeichen dafür, daß die Ätzung beendet werden kann, da im Zuge der einzelnen Ätzschritte die Siliciumdioxidschicht freigelegt worden ist.

Die Figur 4 zeigt eine Realisierung in Form eines Blockschaltbilds zur Ermittlung der zweiten Konzentrationsmaxima 2. Im Blockschaltbild der Figur 4 ist ein Schwellenwert-Trigger-Element 3, ein Verzögerungselement 4 und ein deaktivierbarer Spitzenwert-Detektor 5 dargestellt, die elektrisch miteinander verbunden sind. Als Eingangsgröße des Schwellenwert-Trigger-Elements 3 wird die Fluorkonzentration S des Plasmas verwendet, die direkt an den Eingang 3a angeschlossen ist. Das Ausgangssignal 3b des Schwellenwert-Trigger-Elements 3 wird dem Verzögerungselement 4 als Eingangssignal 4a zur Verfügung gestellt. Das Ausgangssignal 4b des Verzögerungselements 4 wird dem Spitzenwert-Detektor 5 als ein erstes Eingangssignal 5a zugeleitet und schaltet diesen aktiv oder deaktiv. Der Spitzenwert-De-

- 11 -

tektor 5 erhält ein weiteres, zweites Eingangssignal 5b, das die Fluorkonzentration S repräsentiert. Am Ausgang des Spitzenwert-Detektors 5 stehen die zweiten Konzentrationsmaxima K gemäß Figur 3 zur Verfügung.

Es ergibt sich folgende Funktion: Das Schwellenwert-Trigger-Element vergleicht das an seinem Eingang 3a anliegende Signal der Fluorkonzentration S mit dem vorstehend beschriebenen Schwellenwert W . Der Schwellenwert W ist hinsichtlich der Prozeßparameter in seiner Größe vorgebar. Erreicht die Fluorkonzentration S einen Wert, der größer ist als der vorgegebene Schwellenwert W , so wird vom Schwellenwert-Trigger-Element 3 ein Ausgangssignal 3b erzeugt, das als Eingangssignal 4a dem Verzögerungselement 4 zugeführt wird. Hierdurch startet das Verzögerungselement 4 die Verzögerungszeit τ , deren Größe ebenfalls in Abhängigkeit der Prozeßparameter bei der vor Inbetriebnahme erfolgten Kalibrierung vorgegeben worden ist. Der Start der Verzögerungszeit τ kann auch durch ein Synchronisationssignal der Ätzmaschine, das Beginn und Ende jedes Ätzschritts anzeigt, angetriggert werden, wobei beim Start der Verzögerungszeit τ der Beginn jedes Ätzschritts relevant ist. Solange die Verzögerungszeit τ abläuft, wird der Spitzenwert-Detektor 5 deaktiviert. Ist die Verzögerungszeit τ abgelaufen, so wird mittels des Ausgangssignals 4b des Verzögerungselements 4 der Spitzenwert-Detektor 5 an seinem Eingang 5b aktiviert. Ist der Spitzenwert-Detektor 5 aktiviert, so verwendet er das an seinem Eingang anliegende Eingangssignal 5b, nämlich die Fluorkonzentration S , um an seinen Ausgang 5c den Spitzenwert der Fluorkonzentration S zu erzeugen. Mittels nachfolgender, jedoch nicht dargestellter

- 12 -

Komponenten erfolgt schließlich noch ein Vergleich der zweiten Konzentrationsmaxima 2 mit dem vorgegebenen Wert A beziehungsweise B, um eine Aussage über das Erkennen des Übergangs verschiedener Materialien in Halbleiterstrukturen während des Ätzprozesses treffen zu können.

Der in Figur 4 dargestellte Spitzenwert-Detektor 5 kann, in einer hier nicht näher erläuterten Realisierung, durch ein Sample-and-Hold-Element ersetzt werden, wobei dieses Sample-and-Hold-Element durch mehrfache Abtastung der Fluorkonzentration S und Abspeicherung dieser Fluorkonzentrationswerte mittels eines Komparators den auf diese Weise ermittelten angenäherten zweiten Konzentrationsmaximalwert an seinem Ausgang bereitstellt. Das Sample-and-Hold-Element wird, ebenso wie beim Spitzenwert-Detektor 5, durch das vom Verzögerungselement 4 kommende Eingangssignal 5a aktiviert beziehungsweise deaktiviert.

Die Figur 5 zeigt eine detaillierte Schaltungsausführung zur Realisierung der Erfindung in Form eines Schaltplans. Die Schaltung besteht aus folgenden wesentlichen Komponenten:

Es ist ein Impedanzwandler 10 mit einem Verstärkungsfaktor eins vorgesehen, an dessen Eingang 11 das bei der Konzentrationsmessung ermittelte Signal als Ausgangssignal eines optischen Emissionsspektrometers anliegt. Ferner ist ein Komparator 12 mit Hysterese vorgesehen. Als wesentliche Komponenten sind überdies zwei Zeitgeber (Monoflops) 13 und 14 zu nennen, wobei der Zeitgeber 13 zur Realisierung der Verzögerungszeit τ einer Sampling-Stufe 15 genutzt wird und der Zeitgeber 14 zur Übernahme der

- 13 -

Information aus der Sampling-Stufe 15 an einer Hold-Stufe 16 vorgesehen ist.

Es ergibt sich folgende Funktion: Das Ausgangssignal des optischen Emissionsspektrometers, das am Eingang 11 des Impedanzwandlers 10 anliegt, wird mit dem Verstärkungsfaktor eins zur Entkopplung von der übrigen Schaltungselektronik über eine Diode 17 und einen Vorwiderstand 18 auf einen Speicherkondensator 19 und somit auf die Sampling-Stufe 15 geführt. Durch die Anordnung aus Diode 17 und Speicherkondensator 19 wird jeweils der Maximalwert der pro Ätzschrift erreichten Ausgangsspannung des optischen Emissionsspektrometers gespeichert. Zum Speicherkondensator 19 ist ein Entladetransistor 20 parallel geschaltet, wobei letzterer den Kondensator 19 während der Verzögerungszeit τ kurzschließt, wodurch das Sampling inaktiv geschaltet ist. Während der Verzögerungszeit τ wird also der Speicherkondensator 19 auf Null gesetzt und kann daher nicht geladen werden. Das Steuern der Verzögerungszeit τ übernimmt der Komparator 12 mit Hysterese: Überschreitet die Ausgangsspannung des Emissionsspektrometers den mit einem "Trigger-Level"-Potentiometer 21 voreingestellten Schwellenwert W , so wird der Zeitgeber 13 über eine Diode 22, einen Widerstand 23 und ein Transistor 24 mit der ansteigenden Flanke des Spannungssignals am Kollektor vom Transistor 24 für die Verzögerungszeit τ gestartet. Der Ausgang 1Q des Zeitgebers 13 geht dadurch auf High-Potential und schließt über den Transistor 20 den Speicherkondensator 19 der Sampling-Stufe 15 während des Ablaufs der Verzögerungszeit τ kurz. Nach Ablauf der Verzögerungszeit τ wird der Speicherkondensator 19 freigegeben, so daß er den Maximalwert 2 der beim aktuellen Ätzyklus erreichten

- 14 -

Ausgangsspannung des optischen Emissionsspektrometers speichern kann. Solange der Ätzzyklus läuft, das heißt die gemessene Ausgangsspannung des optischen Emissionsspektrometers über dem Schwellenwert W liegt, ist auch der Kollektor von dem Transistor 24 auf High-Potential. Am Ende des Ätzzyklus fällt die Ausgangsspannung des optischen Emissionsspektrometers und damit die Eingangsspannung am Eingang 11 unter den Schwellenwert W und der Kollektor des Transistors 24 fällt auf Low-Potential ab. Mit der fallenden Flanke der Kollektorspannung von Transistor 24 wird der Zeitgeber 14 gesetzt, um die auf dem Speicherkondensator 19 gespeicherte, während des vorangehenden Ätzzyklus erreichte Maximalspannung auf einen Speicherkondensator 25 der Hold-Stufe 16 zu übertragen. Dabei generiert der Zeitgeber 14 einen kurzen Ausgangsimpuls an seinem Ausgang $\overline{2Q}$ der über einen Transistor 26 und ein Schalter-IC 27 dem Speicherkondensator 25 der Hold-Stufe 16 kurzzeitig mit dem Ausgang eines Pufferverstärkers 27 verbindet. Dabei wird der von dem Speicherkondensator 19 der Sampling-Stufe 15 gespeicherte Maximalwert der im vorangegangenen Ätzzyklus erreichten Spannung auf den Speicherkondensator 25 der Hold-Stufe 16 übertragen und dort gehalten. Die beiden Zeitgeber 13 und 14 sind gegeneinander verriegelt, das heißt der Ausgang $\overline{1Q}$ wirkt auf den Clear-Eingang $\overline{2CLR}$ und $\overline{2Q}$ wirkt auf den Clear-Eingang $\overline{1CLR}$, so daß nur jeweils ein Zeitgeber zur gleichen Zeit gesetzt sein kann. Damit wird vermieden, daß während des Übertragens der Sample-Information auf die Hold-Stufe 16 bereits ein Löschen der Sample-Information erfolgen kann beziehungsweise daß während des Löschens der Sample-Information ein Übertragen auf die Hold-Stufe 16 erfolgen kann.

- 15 -

Die Hold-Stufe 16 speichert also jeweils den Maximalwert 2 der im vorhergehenden Ätzschrift erreichten Signalintensität und wird nach jedem Ätzschrift mit dem neuen Maximalwert 2 aktualisiert. Der Eingang des Komparators 12 mit Hysterese kann wahlweise mit dem Ausgang des Entkopplungsverstärkers/Impedanzwandlers 10 verbunden werden und damit -wie beschrieben- die Ausgangsspannung des Emissionsspektrometers zum Erkennen von Ätz- oder Depositionsschritten, das heißt Beginn und Ende jedes Ätzschrifts, herangezogen werden, oder man verbindet den Eingang vom Komparator 12 durch Setzen eines "Jumpers" 28 mit dem Synchronisationssignal der Ätzanlage über einen externen Triggereingang 29 der Schaltung. Die Ätzanlage teilt dem Komparator 12 dann per Spannungssignal mit, wann geätzt wird oder wann die Deposition durchgeführt wird. Ein Operationsverstärker 30 dient dazu, den Spannungswert der Hold-Stufe 16 auf seinen Schaltungsausgang 31 zu übertragen, wobei der Schaltungsausgang 31 so dimensioniert ist, daß eine gewisse Belastung erfolgen kann. Der Pufferverstärker 27 dient dazu, den Umladevorgang vom Kondensator 19 auf den Kondensator 25 zu ermöglichen, ohne daß es aufgrund einer Belastung zu einem Spannungseinbruch kommt.

Ansprüche

1. Verfahren zum Erkennen des Übergangs verschiedener Materialien in Halbleiterstrukturen bei alternierenden Ätz- und Abdeck- beziehungsweise Abscheideschritten zur anisotropen, mittels eines Plasmas erfolgreicher Tiefenätzung von definierten Strukturen, dadurch gekennzeichnet, daß mittels einer Intensitätsmessung mindestens eines bestimmten, im Plasma enthaltenen Stoffs der Beginn eines jeden Ätzschritts durch Erreichen eines charakteristischen Schwellenwerts (W) ermittelt wird und daß dann mit Erreichen des Schwellenwerts (W) eine Verzögerungszeit (τ) gestartet wird, die länger ist als der Verlauf eines ersten Konzentrationsmaximums (1) und dieses ausblendet, daß dann nach Ablauf der Verzögerungszeit (τ) ein zweites Konzentrationsmaximum (2) ermittelt wird, und daß die zweiten Konzentrationsmaxima (2) der Ätzschritte auf ein Über- oder Unterschreiten eines vorgegebenen Werts (A,B) zur Erkennung des Materialübergangs überwacht werden. Der Beginn eines jeden Ätzschritts und damit der Start der Verzögerungszeit (τ) kann durch ein Synchronisationssignal der Ätzmaschine erkannt werden.

- 17 -

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eine Spitzenwertermittlung des zweiten Konzentrationsmaximums (2) erfolgt.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß nach einem Sample-and-Hold-Verfahren das zweite Konzentrationsmaximum (2) ermittelt wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die mittels Fluorradikalen zu ätzende Halbleiterstruktur mindestens einen Bereich aus Silicium (Si) und mindestens einen anderen Bereich aus Siliciumdioxid (SiO_2) aufweist, wobei das Silicium (Si) das von der Ätzseite zuerst bearbeitete Material und das Siliciumdioxid (SiO_2) das durch den fortschreitenden Ätzprozeß zu erreichende Material ist, wobei die ansteigenden zweiten Fluorkonzentrationsmaxima (2) bis über den vorgegebenen Wert (A) zum Erkennen des erreichten Materialübergangs von Silicium (Si) zu Siliciumdioxid (SiO_2) führt.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die mittels Fluorradikalen zu ätzende Halbleiterstruktur mindestens einen Bereich aus Silicium (Si) und mindestens einen anderen Bereich aus Siliciumdioxid (SiO_2) aufweist, wobei das Silicium (Si) das von der Ätzseite zuerst bearbeitete Material und das Siliciumdioxid (SiO_2) das durch den fortschreitenden Ätzprozeß zu erreichende Material ist, wobei ein Abfallen der im Plasma enthaltenen SiF_x -Konzentrationsmaxima bis unter den vorgegebenen Wert (B)

zum Erkennen des Materialübergangs von Silicium (Si) zu Siliciumdioxid (SiO_2) führt.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die mittels Fluorradikale zu ätzende Halbleiterstruktur mindestens einen Bereich aus Silicium (Si) und mindestens einen anderen Bereich aus Siliciumdioxid (SiO_2) aufweist, wobei das Silicium (Si) das von der Ätzseite zuerst bearbeitete Material und das Siliciumdioxid (SiO_2) das durch den fortschreitenden Ätzprozeß zu erreichende Material ist, wobei ein Ansteigen der Sauerstoff-Konzentrationsmaxima den Materialübergang von Silicium (Si) zu Siliciumdioxid (SiO_2) anzeigt.

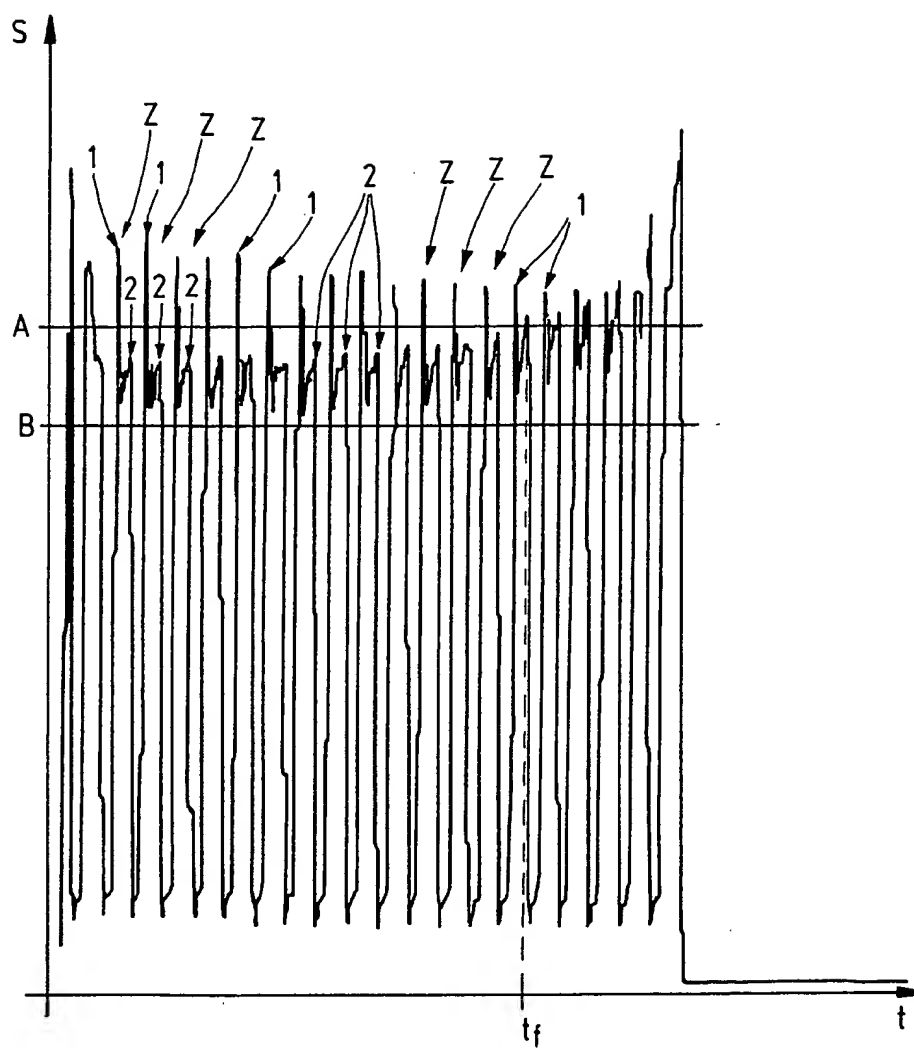


Fig. 1

2 / 4

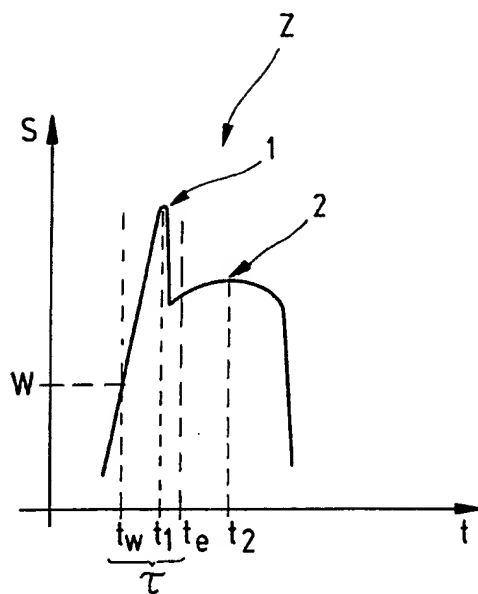


Fig. 2

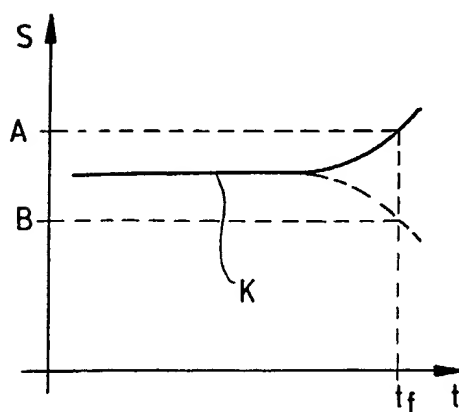


Fig. 3

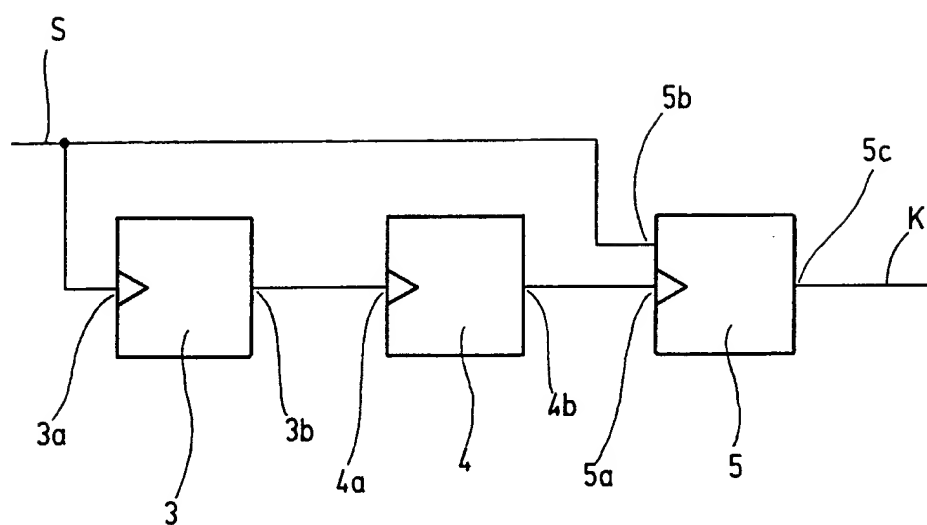


Fig. 4

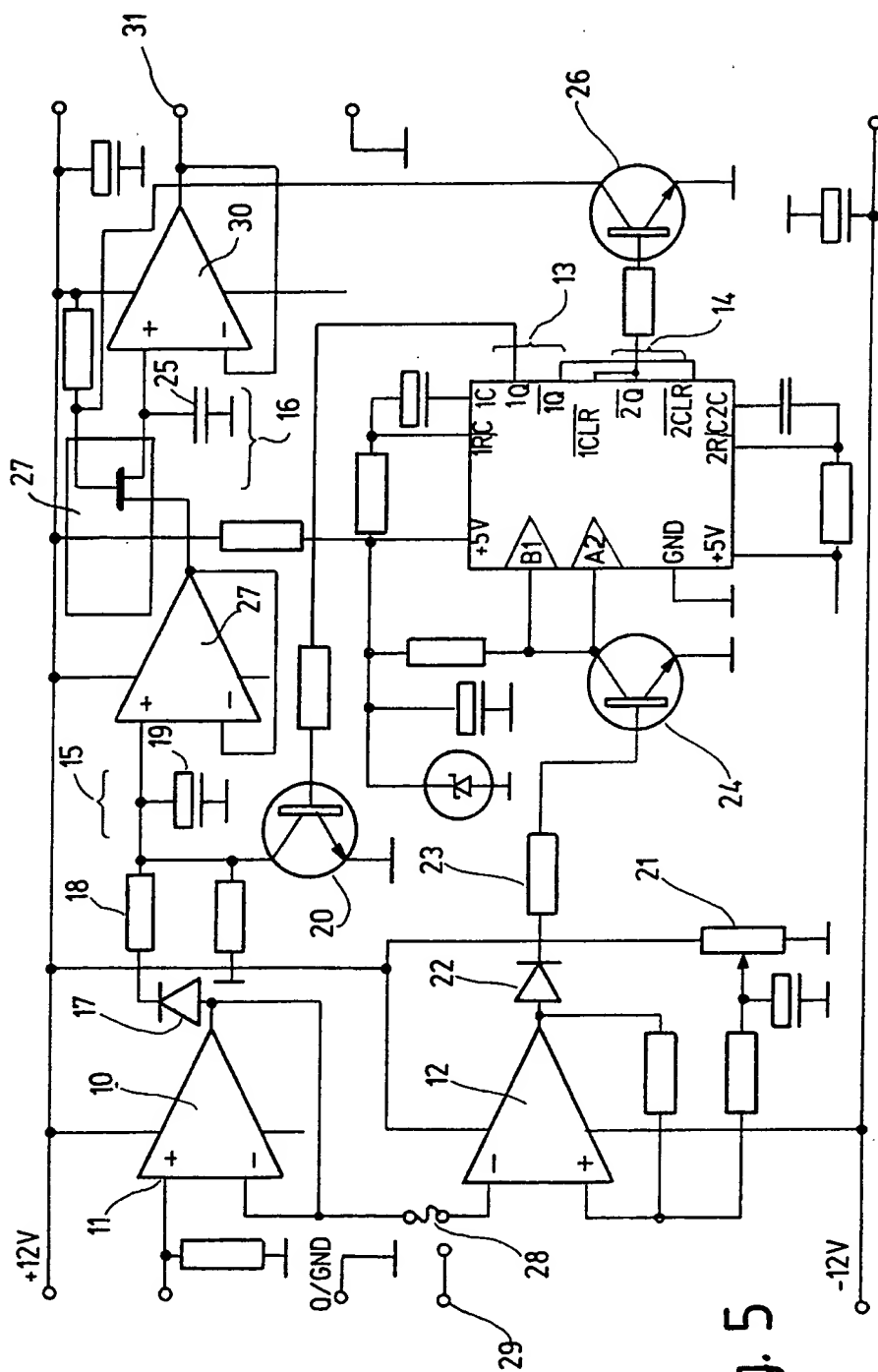


Fig. 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 98/01961

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 6 H01L21/66 H01L21/3065

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 G01N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No. *
Y	EP 0 602 855 A (AT & T) 22 June 1994 see page 2, paragraph 1 see page 3, line 12 - line 18 see page 3, line 49 - line 53 see page 4, line 2 - line 4 see page 4, line 10 - line 12 see figures 1,3 ---	1,4,5
Y	DE 195 24 573 A (GENERAL ELECTRIC) 18 January 1996 see abstract see column 5, line 49 - line 67 see column 6, line 9 - line 16 see column 6, line 29 - line 35 see figure 3 --- -/-	1,4,5

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

26 November 1998

Date of mailing of the international search report

04/12/1998

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Thomas, R.M.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Internal I Application No

PCT/DE 98/01961

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 42 41 045 C (ROBERT BOSCH) 26 May 1994 cited in the application see abstract see column 1, line 44 - line 46 ---	1,4-6
P,A	EP 0 821 396 A (APPLIED MATERIALS) 28 January 1998 see column 1, line 3 - line 5 see column 1, line 23 - line 26 see column 5, line 5 - line 13 ---	1
A	WO 91 18283 A (XINIX) 28 November 1991 see abstract see page 1, line 32 - page 2, line 18 see page 3, line 14 - line 20 -----	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Internat : Application No

PCT/DE 98/01961

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0602855 A	22-06-1994	US 5467883 A	21-11-1995
		JP 6348679 A	22-12-1994
		US 5653894 A	05-08-1997
		US 5737496 A	07-04-1995
DE 19524573 A	18-01-1996	US 5525906 A	11-06-1996
		JP 8173399 A	09-07-1996
DE 4241045 C	26-05-1994	WO 9414187 A	23-06-1994
		EP 0625285 A	23-11-1994
		JP 7503815 T	20-04-1995
		US 5501893 A	26-03-1996
EP 0821396 A	28-01-1998	JP 10074674 A	17-03-1998
WO 9118283 A	28-11-1991	US 5208644 A	04-05-1993
		US 5414504 A	09-05-1995
		US 5786886 A	28-07-1998

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internat. Aktenzeichen

PCT/DE 98/01961

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 6 H01L21/66 H01L21/3065

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 6 G01N

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	EP 0 602 855 A (AT & T) 22. Juni 1994 siehe Seite 2, Absatz 1 siehe Seite 3, Zeile 12 - Zeile 18 siehe Seite 3, Zeile 49 - Zeile 53 siehe Seite 4, Zeile 2 - Zeile 4 siehe Seite 4, Zeile 10 - Zeile 12 siehe Abbildungen 1,3 ---	1,4,5
Y	DE 195 24 573 A (GENERAL ELECTRIC) 18. Januar 1996 siehe Zusammenfassung siehe Spalte 5, Zeile 49 - Zeile 67 siehe Spalte 6, Zeile 9 - Zeile 16 siehe Spalte 6, Zeile 29 - Zeile 35 siehe Abbildung 3 --- -/--	1,4,5

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

26. November 1998

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

04/12/1998

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Thomas, R.M.

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Intern: ales Aktenzeichen

PCT/DE 98/01961

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 42 41 045 C (ROBERT BOSCH) 26. Mai 1994 in der Anmeldung erwähnt siehe Zusammenfassung siehe Spalte 1, Zeile 44 - Zeile 46 ---	1,4-6
P,A	EP 0 821 396 A (APPLIED MATERIALS) 28. Januar 1998 siehe Spalte 1, Zeile 3 - Zeile 5 siehe Spalte 1, Zeile 23 - Zeile 26 siehe Spalte 5, Zeile 5 - Zeile 13 ---	1
A	WO 91 18283 A (XINIX) 28. November 1991 siehe Zusammenfassung siehe Seite 1, Zeile 32 - Seite 2, Zeile 18 siehe Seite 3, Zeile 14 - Zeile 20 -----	1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 98/01961

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0602855 A	22-06-1994	US 5467883 A	21-11-1995
		JP 6348679 A	22-12-1994
		US 5653894 A	05-08-1997
		US 5737496 A	07-04-1995
DE 19524573 A	18-01-1996	US 5525906 A	11-06-1996
		JP 8173399 A	09-07-1996
DE 4241045 C	26-05-1994	WO 9414187 A	23-06-1994
		EP 0625285 A	23-11-1994
		JP 7503815 T	20-04-1995
		US 5501893 A	26-03-1996
EP 0821396 A	28-01-1998	JP 10074674 A	17-03-1998
WO 9118283 A	28-11-1991	US 5208644 A	04-05-1993
		US 5414504 A	09-05-1995
		US 5786886 A	28-07-1998